ECOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE L'ENSEIGNEMENT
TECHNIQUE DE MOHAMMEDIA
UNIVERSITÉ HASSAN II DE CASABLANCA

Département Génie Electrique

Rapport de stage PFA

Filière :

« Génie Electrique et Energies Renouvelables »

Étude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque ON-GRID pour une ferme

Lieu du stage : P PRIME Sarl

Soutenu le … / …/ ….

Réalisé par :
Oussama BERGDI

Encadré par :
M. Mohammed EL KHARRAZI

Année Universitaire : 2024-2025

ENSET, Avenue Hassan II - B.P. 159 - Mohammedia - Maroc
☎ **05 23 32 22 20 / 05 23 32 35 30 – Fax : 05 23 32 25 46 - Site Web: www.enset-media.ac.ma E-Mail : enset-media@enset-media.ac.ma**

Dédicaces

Nous dédions ce modeste travail comme

preuve de respect, de gratitude et de

reconnaissance À :

Nos chères familles pour ses affections, ses

patiences et ses prières.

Nos meilleurs amis pour leur aide, leur temps, leur

encouragement, leur assistance

Et leur soutien.

Mon encadrant pour l'attention

professionnelle et le temps.

A tous ceux qui ont contribué

de près ou de loin à la

réalisation de ce travail.

Remerciements

Je remercie tout d'abord, sans fin, notre **Dieu ALLAH** pour ses innombrables bienfaits.

Ensuite, je tenue, au terme de ce travail, à présenter mes vifs remerciements à toutes les personnes dont l'intervention au cours de ce projet a favorisé son aboutissement.

Ainsi, je tenue à remercier mon encadrant **M. Mohammed El KHARRAZI** pour l'honneur qu'il m'a accordé en voulant bien m'encadrer, pour sa disponibilité et pour ses conseils son aide ainsi ses critiques qui permis de mener à bien ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à **M. Mohamed El Habib ABAAKIL**, Directeur de la société PPRIME, pour m'avoir donné l'opportunité d'effectuer ce stage au sein de son entreprise.

Ainsi que toute personne à **PPRIME** qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet et qui a veillé à partager son savoir faire et son expérience avec nous. Je remercie également la direction et toute l'équipe pédagogique de **l'ENSET Mohammedia**.

J'adresse aussi mes remerciements aux membres de jury qui ont eu la gentillesse de juger et de contribuer à l'évaluation de ce travail.

Et en fin, que toute personne qui a aidé, de près ou de loin, à la réalisation de ce rapport, trouve ici l'expression de mes meilleurs sentiments.

Résumé

Le présent rapport décrit le travail réalisé dans le cadre du projet de fin d'études que nous avons effectué dans une durée de deux mois au sein de l'entreprise PPRIME dans le cadre de projet de fin d'étude de l'Ecole supérieur de technologie de Meknès. Ce projet consiste à l'étude, dimensionnement d'une installation Photovoltaïque ON-GRID.

Liste des abréviations

Abréviations	Désignation
PV	Photovoltaïque
STC	(Conditions standard) Standard Test Conditions
V	Volt
A	Ampère
W	Watt
Wh	Watt-heure
VC0	Tension circuit-ouvert
Icc	Courant de court-circuit
DC	Continue
AC	Alternatif
PS	Puissance souscrite
%	Pourcentage
HPL	Heures pleins
HPT	Heures points
HCR	Heures creuses
FP	Facteur de puissance
MTV	Moyenne tension vert
MTG	Moyenne tension général
j	Jour
KWh	Kilo watt heure

Liste des tableaux

Tableau 1: Fiche technique de l'entreprise....4
Tableau 2:différents types des cellules photovoltaïque.... 13
Tableau 3: avantages et inconvénients de technologie photovoltaïque.... 20
Tableau 4:les informations de l'installation.... 22
Tableau 5: Coordonnés du site.... 23
Tableau 6:La surface d'implantation des panneaux 24
Tableau 7: La consommation annuelle 25
Tableau 8:L'Energie consommée.... 25
Tableau 9: fiche technique de panneau.... 29
Tableau 10:: Choix du type parafoudre 39
Tableau 11:Données de PVSYST 42
Tableau 12 : Dimensionnement des panneaux pour les 4 champs.... 43

Liste des figures

Figure 1:Organigramme de fonctionnement de l'entreprise P PRIME 4
Figure 2 :principe de la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire 9
Figure 3: panneau solaire thermique et photovoltaïque 10
Figure 4:Spectre solaire 11
Figure 5:schéma de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque 11
Figure 6:cellule-panneau-champ photovoltaïque 14
Figure 7:Caractéristique courant-tension 15
Figure 8: l'évolution des caractéristiques (I-V) et (P-V) du module en fonction d'irradiation 18
Figure 9:l'évolution des caractéristiques (I-V) et (P-V) du module en fonction de température 19
Figure 10: Implantation géographique de la ferme 19
Figure 11:Vue par google Maps 24
Figure 12: LA PRODUCTIBLE AU MAROC D'APRES LA CARTE D'ATLAD DE RESSOURCE SOLAIRE AU MAROC 24
Figure 13: L'IRRADIATION DU NOTRE SITE 27
Figure 14:Panneau Longi Solar 27
Figure 15: FICHE TECHNIQUE DE L'ONDULEUR, HUAWEI SUN2000-30KTL-M3 28
Figure 16:PARTIE DC DE L'INSTALLATION 30
Figure 17: PARTIE AC DE L'INSTALLATION 35
Figure 18:Fusibles de chaines de PV 36
Figure 19: Niveaux Kérauniques dans le monde 38
Figure 20:Situation et météo, PVsyst 39
Figure 21:Orientation, PVsyst 41
Figure 22:définition du système réseau 41

Liste des matières

Table des matières

Résumé 3

Liste des abréviations 4

Liste des figures 6

Liste des matières 7

Introduction Générale 1

Chapitre 1 : 2

Introduction 3

I. Présentation de l'organisme d'accueil 3

Domaines d'activité 3

Fiche technique de l'entreprise 4

Organigramme de fonctionnement 4

II. Présentation du projet 5

Contexte pédagogique du projet 5

Contexte du projet 5

Plannification du projet 5

Outil utilisés dans le projet 6

Conclusion 7

CHAPITRE 2 : Introduction à l'énergiephotovoltaïque 8

Introduction : 9

I. Solaire....9
Type de l'énergie solaire....9
Le rayonnement solaire....10
II. Energie solaire photovoltaïque....12
Définition....12
Types d'installations :....12
Différents types des cellules photovoltaïques....12
Principe de fonctionnement....14
Effet photovoltaïque :....15
Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque....15
Influence de l'éclairement et de la température :....18
Avantages et inconvénients de la technologie photovoltaïque :....20
Conclusion....20
Chapitre 3 : Dimensionnement du systèmephotovoltaïque raccordé au réseau....21
Introduction....22
I. A propos de projet....22
II. Règles de choix de la taille de l'installation PV....22
III. Le dimensionnement du système....22
Description du site géographique....23

La ferme est située à la Route De Safi Brahim Oubrahim - Marrakech-Médina. 23

La capacité de la surface pour l'implantation des panneauxphotovoltaïque 24

Calcul de l'énergie à produire et la puissance crête : 24

Choix d'orientation et inclinaison 28

Choix de la technologie des modules photovoltaïques et del'onduleur : 28

Choix des câbles 34

Dimensionnement des éléments de protection 37

-Les composants de la gestion intelligente d'énergie PV : 40

IV. Vérification par PVSYST 40

Conclusion 43

Conclusion Générale 44

Introduction Générale

De nos jours, les besoins énergétiques ne cessent d'augmenter. En effet, les sources d'énergie sont variées, certaines sont épuisables, d'autres illimitées, mais l'énergie est au cœur de deux grands défis actuels : économiques et écologiques. Avec la diminution du stock mondial d'hydrocarbures d'origine fossile (pétrole, gaz et charbon), la demande énergétique sans cesse croissante, la crainte d'une pollution de plus en plus envahissante, les énergies renouvelables (solaire, marine, éolienne, etc.) reviennent au premier plan de l'actualité et leur exploitation arrange beaucoup l'environnement. L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables les plus utilisées. Elle consiste à convertir directement le rayonnement électromagnétique en électricité grâce à l'effet photovoltaïque. Les panneaux photovoltaïques (PV) ont la capacité de transformer les photons en électrons. L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable. Dans ce contexte s'inscrit notre projet intitulé « Dimensionnement d'une installation Photovoltaïque et améliorer la facture d'électricité », L'objectif de ce travail est d'étudier et de dimensionner une installation photovoltaïque raccordé au réseau et optimiser la gestion du réseau électrique à partir des données d'ensoleillement du lieu, et des besoins en énergie électrique de l'utilisateur. Ce dimensionnement a pour but de déterminer la puissance du générateur photovoltaïque et le choix des autres composants de l'installation. Le manuscrit comporte quatre chapitres. Le premier chapitre présente le cadre général de la société. Le deuxième chapitre est consacré à présenter les énergies renouvelables en particulier l'énergie photovoltaïque et ses applications. Le troisième chapitre notre contribution qui consiste au dimensionnement de l'installation photovoltaïque raccordé au réseau. Nous concluons enfin ce rapport en présentant les résultats trouvés et en évoquant les perspectives potentielles de notre sujet.

Chapitre 1 :

Présentation de l'organisation d'accueil et de la planification de travail et les outils utilisés

Introduction

Ce présent chapitre sera dédié à la présentation de l'organisme d'accueil, et à la présentation du cadrage du projet, la planification du travail ainsi que les différents outils et logiciels utilisés.

I. Présentation de l'organisme d'accueil

Crée en Novembre 2003, avec un capital de 100 000,00 Dirhams, « P PRIME » démarre son activité dans l'automatisme comme activité principale, après elle s'investie dans la basse et moyenne tension et dans les études et ingénieries, ce qui lui a permis de créer une image de marque très solide et d'accroître sa rentabilité.

I.1 Domaines d'activité

La société P PRIME couvre plusieurs activités :

ELECTRICITE MT/BT

Etudier les besoins des clients en installation électrique « tertiaire, industrielle »… Aussi bien en Moyenne Tension qu'en Basse Tension.

ÉNERGIE RENOUVELABLE

P PRIME développe sa stratégie dans le secteur des énergies renouvelables, particulièrement dans les domaines des énergies solaires et photovoltaïques. L'objectif est de fournir au client une prestation complète allant de la conception à la livraison finale.

AUTOMATISMES, SUPERVISION ET TÉLÉGESTION

Disposant de moyens adaptés, PRIME contribue dans les domaines où la technologie évolue sans cesse.

EFFICACITE ENERGETIQUE

Dans le domaine de l'efficacité énergétique, l'offre est basée sur une gamme de produits et services, permettant aux clients de maitriser et d'optimiser la gestion du réseau électrique et des utilités.

I.2 Fiche technique de l'entreprise

La fiche technique de l'entreprise est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 1: Fiche technique de l'entreprise

P PRIME	
Forme juridique	SARL
Capitale Social	1 500 000 DHS
Chiffres d'affaires 2020	4 000 000 DHS
Gérante	Mme TAGOUNT Aicha
Effectif du personnel	80
Adresse administrative	Centre de vie C73 zone industrielle Tassila-Agadir
Téléphone	0528832014
Fax	0528832015
Email	contact@pprime.ma

I.3 Organigramme de fonctionnement

L'organigramme de fonctionnement de l'entreprise est représenté dans la figure suivante :

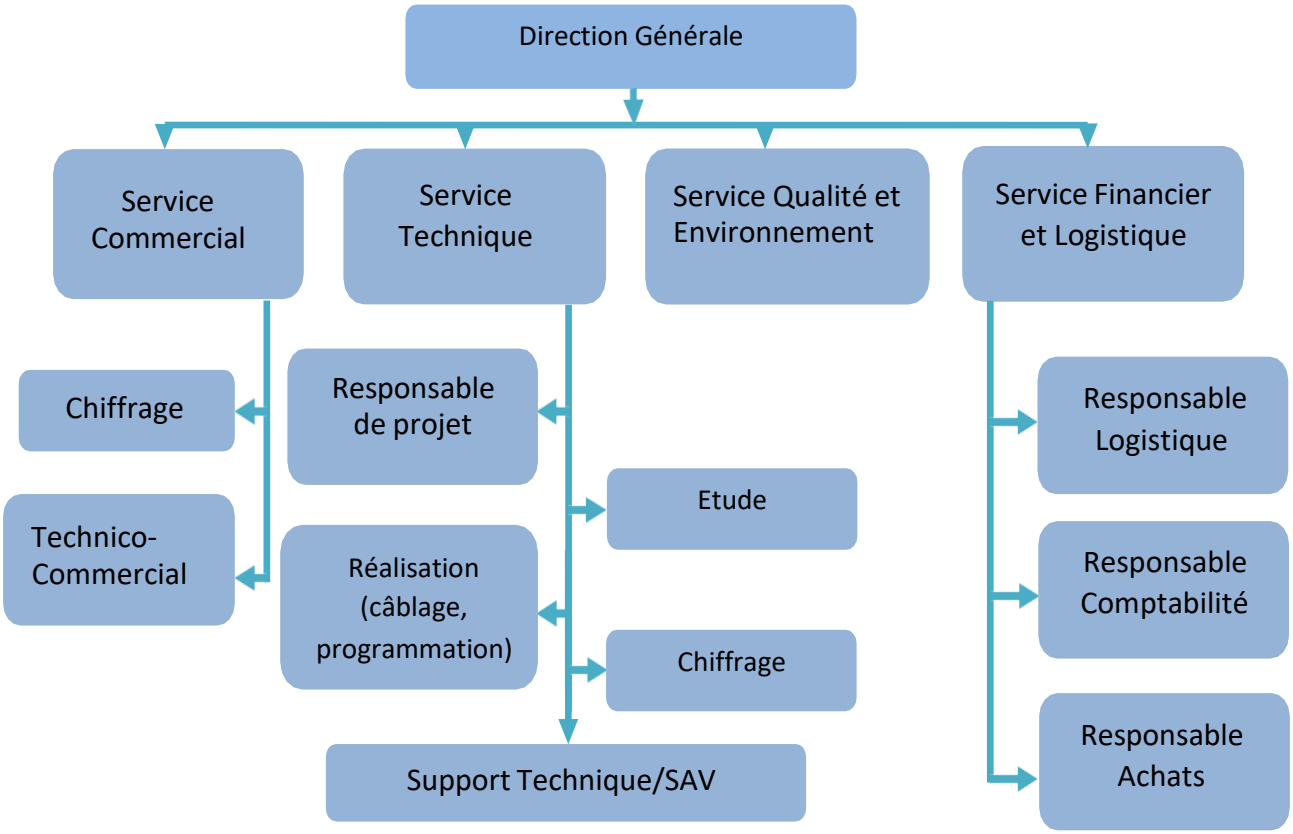


Figure 1:Organigramme de fonctionnement de l'entreprise P PRIME

II. Présentation du projet

II.1 Contexte pédagogique du projet

Les élèves de 2e année du cycle d'ingénieur en génie électrique et énergies renouvelables de l'ENSET de Mohammedia doivent réaliser un stage de fin d'année pour appliquer les connaissances acquises au cours de leur formation.

II.2 Contexte du projet

Le projet concerne Étude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque ON-GRID d'une ferme à Safi Brahim Ou Brahim - Marrakech-Médina qui est spécialisé dans gestion d'exploitations agricole.

II.3 Plannification du projet

a. Organisme

La société PPRIME SARL.

b. Sujet

Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque ON-GRID pour une ferme.

c. Objectif

L'objectif de ce projet est amélioré la facture énergétique de produire une énergie propre sans pollution d'environnement.

d. Description

Les étapes de réalisation de ce projet sont comme suit :

- ✓ **DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE**
  - Calculer la capacité de la surface pour l'implantation des panneaux ;
  - Calculer la puissance crête à installer selon la consommation journalière pendant les heures creuses de la ferme (données de ONE).
- ✓ **ETUDE TECHNIQUE THEORIQUE**
  - Choisir le type de panneau et calculer le nombre des panneaux ;
  - Choisir le type de l'onduleur et calculer le nombre des onduleurs ;
  - Calculer les sections des câbles à utiliser ;
  - Dimensionner les dispositifs de protection.

✓ **ETUDE PRATIQUE**

- Dimensionner l'installation photovoltaïque sur le logiciel PVSYST ;
- Comparaison entre les résultats pratique et théorique.

✓ **ESTIMATION DU COUT DE L'INSTALLATION**

II.4 Outil utilisés dans le projet

Afin de mener à bien notre projet, nous nous sommes servis d'un outil spécialisé dans le domaine des Energies Renouvelables et efficacité énergétique :

- **PVSYST**

PVSYST est l'un des plus anciens et des plus performants logiciels dédiés au photovoltaïque. Il propose des fonctionnalités très poussées telle que son application 3D qui permet de simuler la course du soleil et les ombres portées afin d'optimiser l'implantation des panneaux.

Conclusion

Cette partie introductive a été consacrée à la présentation de l'environnement du stage. Elle décrit l'entreprise P PRIME et met l'accent sur le découpage du projet et sa planification pour une meilleure réalisation en respectant les délais et les normes.

CHAPITRE 2 : Introduction à l'énergie photovoltaïque

Introduction :

Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire, la terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace. Une moyenne de 1367 watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre (pour une distance moyenne Terre-soleil de 150 Millions de km), c'est ce que l'on appelle la constante solaire égale à 1367W/m². Il brille dans le ciel depuis presque 5 milliards d'années et les scientifiques ont calculé qu'il est à la moitié de son existence. Nous avons du mal à imaginer qu'au cours d'une année le soleil diffuse vers la terre quatre mille fois plus d'énergie que celle consommée par toute la population mondiale. Aujourd'hui, il parait insensé de ne pas en profiter car nous avons les moyens technologiques nécessaires. De plus il faut considérer que cette source d'énergie est gratuite, propre et inépuisable. Cette énergie pourrait par ailleurs nous libérer de notre dépendance aux énergies fossiles ou aux autres alternatives peu sûres ou polluantes. Cette énergie peut être directement exploitée ou transformée en électricité. Le chapitre suivant consiste à présenter une étude générale sur l'énergie solaire photovoltaïque ainsi que son principe de fonctionnement.

I. Solaire

L'électricité est une des formes d'énergie les plus versatiles et qui s'adapte au mieux à chaque nécessité. Son utilisation est si étendue, qu'aujourd'hui on pourrait difficilement concevoir une société techniquement avancée qui n'en fasse pas usage. Le principe de l'énergie solaire photovoltaïque consiste à transformer le rayonnement solaire en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque.

Figure 3 : principe de la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

I.1 Type de l'énergie solaire

Il existe deux types d'énergie solaire : photovoltaïque, thermique.

- Le panneau solaire thermique : il transforme le rayonnement solaire en chaleur afin de produire de l'eau chaude sanitaire et éventuellement
- Le chauffage de votre logement Le panneau **solaire photovoltaïque** :il transforme la lumière du rayonnement solaire en électricité.

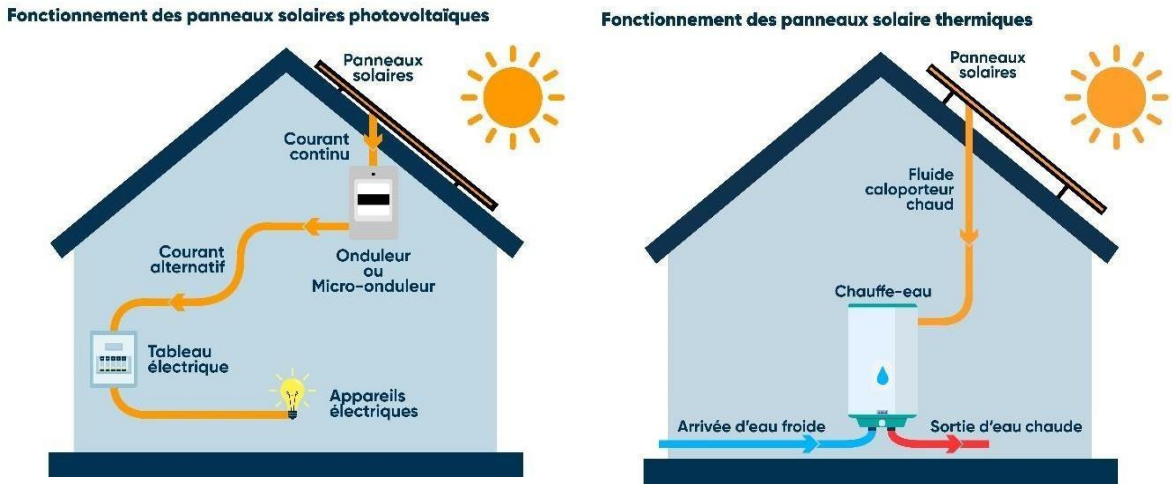


Figure 4: panneau solaire thermique et photovoltaïque

I.2 Le rayonnement solaire

Le soleil est une sphère gazeuse âgée de 5 milliards d'années, son diamètre est de 1.391.000 Km, sa masse 2.1030 Kg. Il est composé de 92% d'Hydrogène et de 8% d'Hélium, au centre de soleil l'Hydrogène est transformé en Hélium à partir des réactions thermonucléaires de fusion en produisant l'énergie et le rayonnement, 4 millions de tonnes disparaissent par seconde en énergie lumineuse (lumière).

Le rayonnement solaire désigne l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil. Il se compose donc de :

L'ultraviolet : de 200 nm à 400 nm, invisibles, sans échauffer, provoquent des dommages sur les cellules.

La lumière visible : de 400 à 800 nm, visibles, ils nous permettent de distinguer les formes et les couleurs.

Les Infrarouges (IR), de 800 à 1400 nm, invisibles, chauffent la matière solide ou gazeuse qu'ils rencontrent.

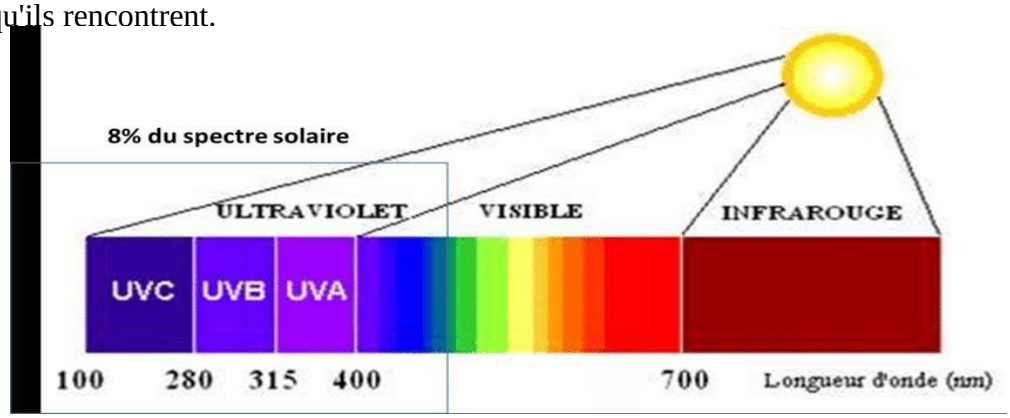


Figure 5:Spectre solaire

II. Energie solaire photovoltaïque

II.1 Définition

L'énergie solaire photovoltaïque repose (PV) sur le principe de la conversion de l'énergie lumineuse du soleil en électricité à travers des cellules PV composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie provenant du soleil et la transforme directement en énergie électrique. La conversion de la lumière en électricité, appelée effet photovoltaïque, a été découverte par E. Becquerel en 1839.

Partout où le réseau de distribution électrique est à disposition, il est possible de se passer de l'élément de stockage par un couplage au réseau. Le raccordement au réseau sans injection. Dans ce chapitre nous présentons la démarche suivie pour le dimensionnement des composants de l'installation photovoltaïque raccordée au réseau.

II.2 Types d'installations :

- Une **installation solaire autonome** consiste à utiliser l'électricité produite directement ou en la stockant dans des batteries.
- Une **installation photovoltaïque raccordée** au réseau permet de produire de l'électricité pour l'envoyer sur le réseau électrique nationale. Ainsi la totalité de la production électrique est utilisée par les consommateurs proches.

II.3 Différents types des cellules photovoltaïques

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par a un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent.

Actuellement, il existe trois principaux types de cellules.

Tableau 2 : différents types des cellules photovoltaïque

Technologie	Monocristallin	Polycristallin	Amorphe
Module			
Caractéristiques	Très bon rendement : 14 A20 %. Durée de vie : importante(30 ans) Coût de fabrication : élevé.Rendement faible sous un faible éclairement. Perte de rendement avecl'élévation de la température. Fabrication : élaborés à partir d'un bloc de siliciumfondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal Couleur bleue uniforme.	Bon rendement : 11 à 15 %. Durée de vie : importante (30 ans) Coût de fabrication : meilleur marché que lespanneaux monocristallins Rendement faible sous un faible éclairement. Perte de rendement avecl'élévation de la température. Fabrication : élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant formeplusieurs cristaux. Ces cellules sont bleues,mais non uniforme.	Rendement faible : 5 à 9 % Durée de vie : assez importante (20 ans) Coût de fabrication peu onéreux par rapport aux autres technologies Fonctionnement correct avec un éclairement faible. Peu sensible aux températures élevées. Rendement faible en plein soleil. Performances diminuant avec le temps. Fabrication : couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de Vaporisation sous vide.
Part de marché	43 %	47 %	10 %

II.4 Principe de fonctionnement

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction (dite p-n) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones n et p, une diode est obtenue. Les électrons ne circulent que de la zone p à n et inversement pour les trous. Ceci est dû à l'utilisation de semi-conducteur. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction et laisse aussi un trou capable de se mouvoir, engendrant ainsi une paire électron-trou. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n rejoignent les trous de la zone p via la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel.

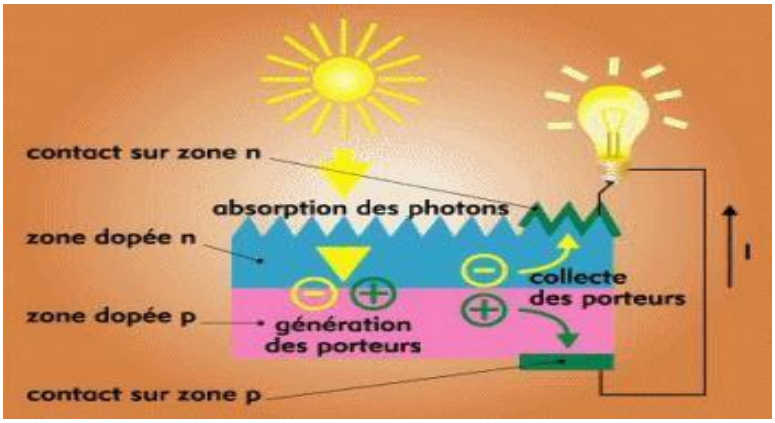


Figure 6 : schéma de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

II.5 Effet photovoltaïque :

Figure 7:cellule-panneau-champ photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est l'unité de base qui permet de convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Un panneau photovoltaïque est formé d'un assemblage de cellules photovoltaïques. Parfois, les panneaux sont aussi appelés modules photovoltaïques.

Lorsqu'on regroupe plusieurs panneaux sur un même site, on obtient un champ photovoltaïque.

II.6 Caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque

Sous un éclairement donné, toute cellule photovoltaïque est caractérisée par une courbe courant-tension (I-V) représentant l'ensemble des configurations électriques que peut prendre la cellule. Trois grandeurs physiques définissent cette courbe :

- Sa tension à vide : Vco. Cette valeur représenterait la tension générée par une cellule éclairée non raccordée.
- Son courant court-circuit : Icc. Cette valeur représenterait le courant généré par une cellule éclairée raccordée à elle-même.
- Son point de puissance maximal : MPP (en anglais : maximal power point) obtenu pour une tension et un courant optimal : Vopt, Iopt (parfois appelés aussi Vmpp, Impp)

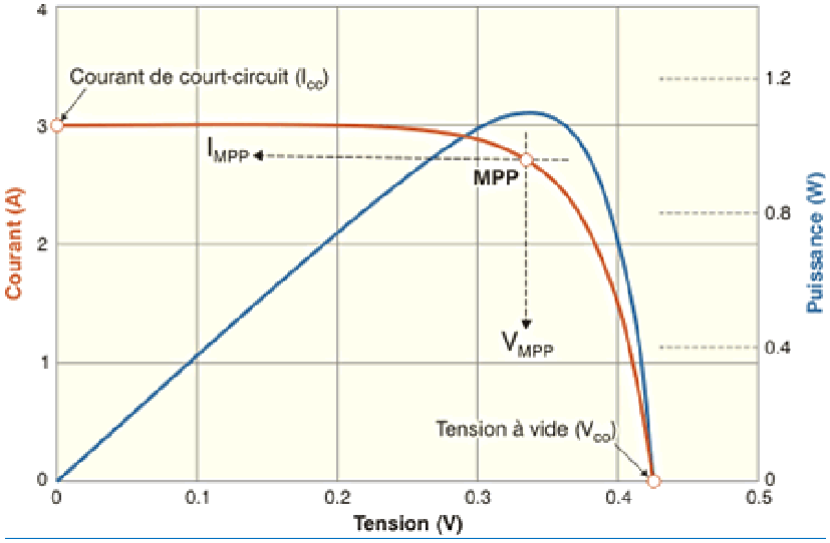


Figure 8: Caractéristique courant-tension

- Remarque :

Pour permettre une comparaison de l'efficacité de différentes cellules, on définit ces caractéristiques dans des conditions de test bien précises (STC = Standard Test Conditions). Ces conditions sont : émission lumineuse de 1 000 W/m², température de 25 °C, conditions spectrales Air Mass 1.5 (composition du spectre identique au spectre solaire lorsqu'il traverse une épaisseur et demie d'atmosphère, ce qui correspond à un angle d'incidence de 41.8° par rapport à l'horizontale). La valeur des 3 paramètres ci-dessus dépend d'un certain nombre de paramètres dont :

- Le niveau d'éclairement de la cellule
- La température de la cellule

II.7 Influence de l'éclairement et de la température :

Les caractéristiques d'un module PV dépendent de l'éclairement et de la température. Selon la technologie du générateur photovoltaïque, les variations des paramètres seront différentes.

II.7.1 Influence de l'éclairement :

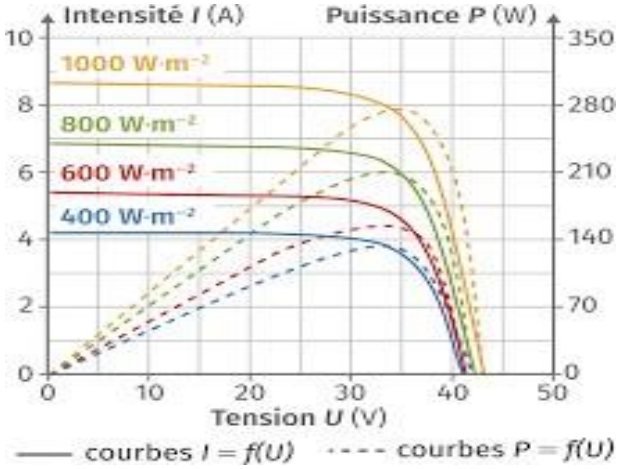


Figure 9 : l'évolution des caractéristiques (I-V) et (P-V) du module en fonction d'irradiation

On remarque que le courant de court-circuit *I*cc varie avec le rayonnement lumineux, la tension en circuit ouvert *V*c0 restant relativement constante. On remarque aussi que le courant optimal est très sensible à l'éclairement. Par contre la tension optimale varie très peu avec l'éclairement.

II.7.2 Influence de la température

- **Influence de la température :**

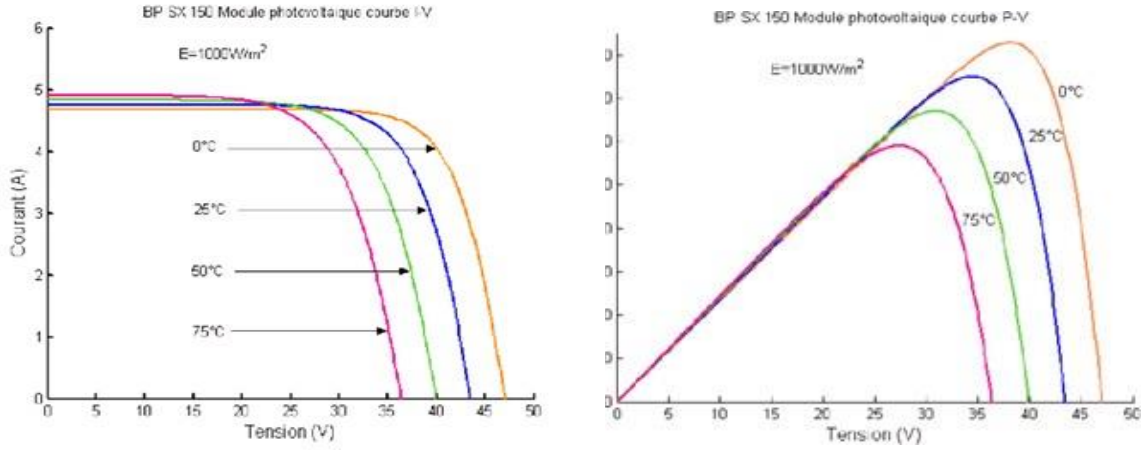


Figure 10 : l'évolution des caractéristiques (I-V) et (P-V) du module en fonction de température

On remarque que quand la température augmente, la tension à vide diminue, mais le courant de court-circuit augmente dans des proportions moindres. Cette influence devra être prise en compte lors du dimensionnement d'un générateur photovoltaïque.

La perte de tension d'un module ou d'une cellule peut être estimée par la formule suivante :

$$U(T°) = U(25°C) + (\Delta T \times a)$$

Avec ΔT : augmentation de température par rapport aux conditions STC (25°C) a : coefficient de température VCO [mV/K], valeur fournie par le fabriquant.

II.8 Avantages et inconvénients de la technologie photovoltaïque :

Tableau 3: avantages et inconvénients de technologie photovoltaïque

Avantages	Inconvénients
L'énergie solaire est inépuisable et non polluante	La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologique et requiert des investissements d'un coût élevé.
L'énergie est propre et ne dégage pas de Gaz à effet de serre	Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).
Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé	Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.
Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé	

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque, ainsi que les différentes configurations des systèmes photovoltaïques à savoir les panneaux photovoltaïques.

Chapitre 3 : Dimensionnement du système photovoltaïque raccordé au réseau

Introduction

Partout où le réseau de distribution électrique est à disposition, il est possible de se passer de l'élément de stockage par un couplage au réseau. Le raccordement au réseau permet donc un échange d'énergie. Dans ce chapitre dédié à la conception de la centrale, on s'intéresse à dimensionner le système PV afin de déterminer les caractéristiques des éléments constitutifs et la configuration des champs. Enfin, les dispositifs de protection seront dimensionnés.

La responsable des projets solaires de PPRIME me proposé de faire un dimensionnement d'un système raccordé au réseau sans injection dans une ferme à **Route De Safi Brahim Oubrahim - Marrakech-Médina (AR)**

I. A propos de projet

Tableau 4: les informations de l'installation

Sujet	**Système Photovoltaïque raccordé au réseau sans injection**
Lieu	**Route De Safi Brahim Oubrahim Marrakech-Médina**
Application	**Satisfaire les besoins journaliers d'électricité**

II. Règles de choix de la taille de l'installation PV

La taille de l'installation est choisie selon les critères suivants :

- La surface d'implantation.
- La Consommation annuelle.
- Le Budget disponible.

III. Le dimensionnement du système

Une installation photovoltaïque raccordée au réseau HTA est composée de modules solaires PV, d'un boitier DC, d'un onduleur, d'un boitier AC, d'un compteur de production puis d'un transformateur de puissance élévateur. Les étapes de dimensionnement sont les suivants :

Etape 1 : Chiffrage de l'énergie solaire selon l'emplacement du site de l'installation.

Etape 2 : Détermination la puissance crête à installer.

Etape 3 : Détermination du nombre des modules photovoltaïque d'après ses caractéristiques.

Etape 4 : Dimensionner l'onduleur.

Etape 5 : Détermination des accessoires de câblage.

III.1 Description du site géographique

La ferme est située **à la Route De Safi Brahim Oubrahim - Marrakech-Médina.**

Tableau 5 : COORDONNEES DU SITE

Latitude	**32,10 NORD**
Longitude	**8,5 EAST**
Altitude	**367 m**

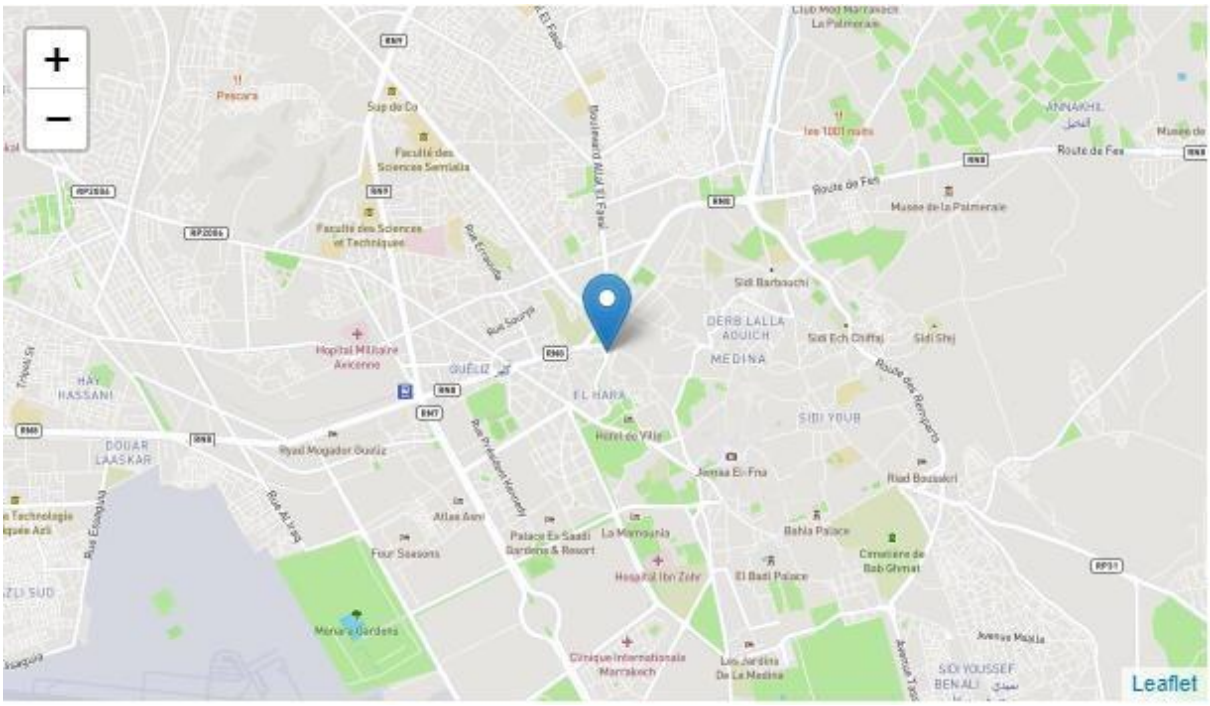


Figure 11 : Implantation géographique de la ferme

III.2 La capacité de la surface pour l'implantation des panneaux photovoltaïque

Figure 12:Vue par google Maps

Les surfaces disponibles pour l'implantation des panneaux sont les suivants :

Tableau 6:La surface d'implantation des panneaux

Surface	Terre
Longueur	84 m
Largeur	11,5 m
Surface	966 m^2

III.3 Calcul de l'énergie à produire et la puissance crête :

a- L'énergie consommée (Ecj)

D'après l'analyse des factures d'électricité annuelles de cette ferme on remarque que la consommation d'électricité pendant la journée présente 46% de la consommation totale. En termes de coût la ferme pai 141669,4752DH chaque année pour cette raison.

C'est pour cela prenant les panneaux Photovoltaïque comme solution pour la facture énergétique de cette ferme.

Tableau 7: La consommation annuelle

Mois	Energie Active montuelle		
	Energie Active HPT (Kwh)	Energie Active HPL(Kwh)	Energie Active HCR(Kwh)
janv-22	140	10191	15816
févr-22	120	9 224	18757
mars-22	142	4 878	18762
avr-22	115	2 487	8312
mai-22	116	3 326	9859
juin-22	2 642	7 384	17786
juil-22	3 641	8 196	19652
août-22	3 634	12 550	19676
sept-22	3 825	24 353	21575
oct-22	3 948	27 060	22080
nov-22	1 717	26 718	21142
déc-22	215	23 520	21223
Annuelle	20 255	159 887	214 640
le montant	25153,67175	141669,4752	139290,628
T.Montant (DH)	306113,775		
Porcentage de montant	8%	46%	46%

À partir de ce tableau, on peut déterminer l'énergie consommée pendant la journée si les actions sont effectuées dans le tableau ci-dessus

Tableau 8 : L'Energie consommé

Energie Active Journaliére dans chaque mois			
Energie Active HPT(Kwh/j)	Energie Active HPL(Kwh/j)	Energie Active HCR(Kwh/j)	
4,67	339,70	527,20	
4,00	307,47	625,23	
4,73	162,60	625,40	
3,83	82,90	277,07	
3,87	110,87	328,63	
88,07	246,13	592,87	
121,37	273,20	655,07	
121,13	418,33	655,87	
127,50	811,77	719,17	
131,60	902,00	736,00	
57,23	890,60	704,73	
7,17	784,00	707,43	
675,17	5329,57	7154,67	somme
56,26	444,13	596,22	Energie consommée journalière

A partir de ces calcules donc l'Energie journalier consommé pendant les heures pleine est **444,13 KWh/j**

b- L'énergie produite

D'abord, il faut que l'énergie consommée (Ecj) égale l'énergie produite (Epj) à un coefficient

Près.

$$Epj=\frac{Ecj}{K}$$

Epj : Energie produite journalière.
Ecj : Energie consommée journalière.
Le coefficient **k** tient compte des facteurs suivant :

- L'incertitude météorologique ;
- L'inclinaison non corrigé des modules suivant la saison ;
- Le point de fonctionnement des modules qui est rarement optimal et qui peut être aggravé par : la baisse des caractéristiques des modules, la perte de rendement des modules dans le temps (vieillissement et poussières) ;
- Le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie (90%) ;
- Le rendement du chargeur et de l'onduleur (de 90 à 95%) ;
- Les pertes dans les câbles et connexions.

Le coefficient k est en général compris entre 0,55 et 0,75. La valeur approchée que l'on utilise pour notre système sera la moyenne : 0,65

Alors

$$E_{pj} = 683.27KWh/j$$

c- Irradiation

Au Maroc, l'irradiation annuelle moyenne, peut varier entre 1700 et 2200 kWh/m2 selon l'emplacement géographique du bâtiment et les performances des équipements installés

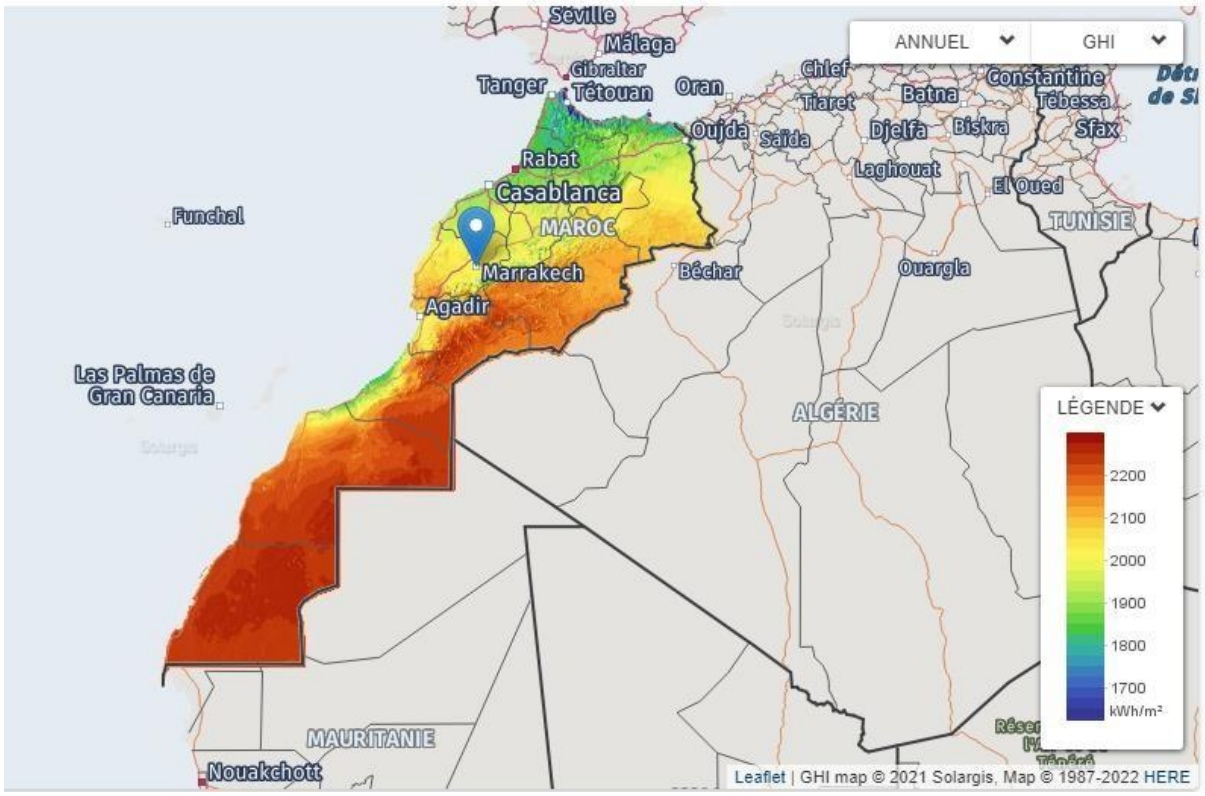


Figure 13 : LA PRODUCTIBLE AU MAROC D'APRES LA CARTE D'ATLAD DE RESSOURCESOLAIRE AU MAROC

D'après la carte de Atlas de ressource solaire l'irradiation annuelle moyen de notre site est de 1998 kWh/m2/an=5.55 kWh/m2/jour

GHI	1998	kWh/m²
DNI	2050	kWh/m²
TEMP	18.8	°C
PVOUT	1763	kWh
GTI	2256	kWh/m² (180°/31°)
PR	78	%

Figure 14: L'IRRADIATION DU NOTRE SITE

d- Puissance crête

Donc La puissance crête de notre installation est Après avoir calculé l'énergie produite journalière, nous allons Calculer la puissance crête Pc du générateur photovoltaïque nécessaire :

$$P_c = E_{pj}/I_r$$

Pc : Puissance crête en Watt crête (Wc).
Epj : Energie produite par jour (Wh/jour).

Ir : Irradiation moyenne journalier (kWh/m²/jour).

Donc la puissance crête est **123.11 KWc**

III.4 Choix d'orientation et inclinaison

Le choix de la position des modules photovoltaïques par rapport au soleil influe directement leur production énergétique. Il est très important alors de bien les placer pour les utiliser d'une façon meilleure. L'orientation est le point cardinal vers lequel est trouvée la face active des panneaux (sud, nord, sud-ouest…). Quant à l'inclinaison, elle indique l'angle qui fait le panneau avec le plan horizontal. La société exige le choix d'inclinaison de 32° au sud.

III.5 Choix de la technologie des modules photovoltaïques et de l'onduleur :

III.5.1 Calcul de nombre des panneaux solaires :

La technologie des modules photovoltaïques proposée dans cette installation est longi-solar monocristallin, leur référence est type **LONGI LR4-72HPH** avec une puissance de 450W.

Nous avons choisi ce type de panneau selon ces critères :

- Marque
- Rendement
- Qualité
- Classement
- Prix

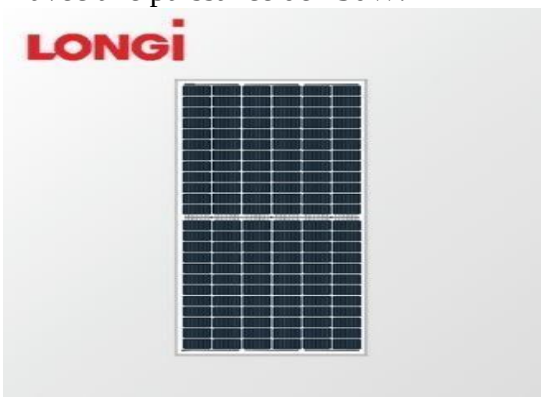


Figure 15 : Panneau Longi Solar

Le Tableau Ci-dessous représente les caractéristiques de ce panneau :

Tableau 9 : fiche technique de panneau

Puissance Maximal (Pmax)	450 Wp
Tension à Puissance Maximal (Vmp)	41.5 V
Courant à Puissance Maximum (Imp)	10.85 A
Tension Circuit Ouvert (Voc)	49.3 V
Courant Circuit Court (Isc)	11.60 A
Efficacité Module	20.7 %
Tolérance de Puissance	0~+5 W
Caractéristique de Température	
Gamme de Température	-40°C~+85 °C
Coefficient Température (Pmax)	-0.350%/°C
Coefficient Température (Voc)	-0.270%/°C
Coefficient Température (Isc)	+0.048%/°C
Caractéristiques Matériel	
Dimension Module	2094 mm × 1038 mm × 35 mm
Poids	23.5 kg
Type Cellule	MONO PERC
Nombre de cellules	144
Epaisseur du Verre	3,2 mm
Protection Boîte de Jonction	IP 68

A partir de la puissance crête unitaire des modules PV (450 WC), on détermine le nombre des panneaux PV qui nous pouvons installer dans notre surface.

- Surface de terre disponible compte tenu d'un bord de sécurité de 1 m pour chaque côté

$$\mathbf{(84-(2*1))\ *(11.5-\ (2*1))\ =779m^2}$$

- Surface de panneau selon la fiche technique

$$\mathbf{2.094*1.038=2.17mm^2}$$

Donc les nombres des qui nous pouvons installer dans notre surface est :

$$\frac{\mathbf{779}}{\mathbf{2.17}}\mathbf{=359\ panneaux}$$

Nombre des panneaux qui satisfaire notre besoin est

Nombre des panneaux= $\frac{\mathbf{Pc}}{\mathbf{Ppa}}$ =$\frac{\mathbf{123000.11}}{\mathbf{450}}$=274 panneaux

III.5.2 Choix d'onduleur :

Le choix d'onduleurs repose sur 3 critères :

- La compatibilité en tension.

- La compatibilité en courant.
- La compatibilité en puissance.

Dans notre cas on utilise on onduleur de la marque **HUAWEI SUN2000-30KTL-M3**.
Ci-dessous les caractéristiques techniques de cet onduleur

Technical Specification	SUN2000-30KTL-M3	SUN2000-36KTL-M3
Efficiency		
Max. Efficiency		98.7%
European Efficiency		98.4%
Input		
Max. Input Voltage [1]		1,100 V
Max. Current per MPPT		26 A
Max. Short Circuit Current per MPPT		40 A
Start Voltage		200 V
MPPT Operating Voltage Range [2]		200 V ~ 1000 V
Rated Input Voltage		600 V
Number of Inputs		8
Number of MPP Trackers		4
Output		
Rated AC Active Power	30,000 W	36,000 W
Max. AC Apparent Power	33,000 VA [3]	40,000 VA
Rated Output Voltage		230 Vac / 400 Vac / 480 Vac, 3W/N+PE
Rated AC Grid Frequency		50 Hz / 60 Hz
Rated Output Current	43.3 A	52.0 A
Max. Output Current	47.9 A	58.0 A
Adjustable Power Factor Range		0.8 LG ... 0.8 LD
Max. Total Harmonic Distortion		< 3%

Figure 16 : FICHE TECHNIQUE DE L'ONDULEUR, HUAWEI SUN2000-30KTL-M3

Après le choix et dimensionnement de l'onduleur, une étude de compatibilité (en puissance, en courant et en tension) doit être vérifiée pour savoir la façon de câbler les modules PV entre eux.

a. La compatibilité en tension

- **Tension maximale**

Admissible Umax Un onduleur est caractérisé par une tension d'entrée maximale admissible Umax. Si la tension délivrée par les modules est supérieure à Umax, l'onduleur sera irrémédiablement détruit. Le dépassement de la valeur Umax pour la tension d'entrée est, par ailleurs, la seule cause d'endommagement définitif de l'onduleur.

- **Plage de tension MPPT**

L'onduleur doit à tout moment demander aux modules leur maximum de puissance. Pour cela, il déplace le point de fonctionnement du groupe photovoltaïque (c'est-à dire le couple UI). Ce point de fonctionnement correspond au point de puissance maximum. Il varie en permanence en fonction de l'intensité de l'irradiation, de la température, des ombres, etc. La

Recherche du point de puissance maximum est réalisée par un système intégré en amont de l'onduleur, nommé MPPT (Maximum Power Point Tracking).

Cependant, le système MPPT ne fonctionne que pour une plage de tension d'entrée d'onduleur définie par le fabricant, et indiquée sur la fiche technique de l'onduleur. Lorsque la tension d'entrée de l'onduleur côté DC est inférieure à la tension minimale MPPT, l'onduleur continue de fonctionner mais fournit au réseau la puissance correspondante à la tension minimale MPPT. Il faut donc s'assurer que la tension délivrée par le groupe photovoltaïque est comprise dans la plage de tension MPPT de l'onduleur auquel il est connecté. Si ce n'est pas le cas, il n'y aura aucun dommage à l'onduleur, mais seulement une perte de puissance.

Cette plage de tension MPPT va donc aussi avoir un impact sur le nombre de modules photovoltaïques en série. En effet, on cherchera idéalement à obtenir une tension délivrée par le groupe photovoltaïque comprise dans la plage MPPT, quel que soit la température des modules.

Pour calculer le nombre de module en série nécessaires afin que la chaîne photovoltaïque délivre une tension comprise dans la plage de tension MPPT de l'onduleur, on pourra considérer les deux critères suivants :

- La tension MPP délivrée par la chaîne photovoltaïque, à une température des modules De -10°C et sous une irradiation de 1000 W/m², doit être inférieure à la valeur maximale de la plage de tension MPPT de l'onduleur. Cela permet de déterminer le nombre maximum de modules photovoltaïques en série.
- La tension MPP délivrée par la chaîne photovoltaïque, à une température des modules de 70°C et sous une irradiation de 1000 W/m², doit être supérieure à la valeur minimale de la plage de tension MPPT de l'onduleur. Cela permet de déterminer le nombre minimum de modules photovoltaïques en série.

On peut calculer Le nombre minimum et maximum de panneaux PV par les relations suivantes :

$$\frac{Umppmax}{Umpp(Panneau)*1{,}15} = \text{Nb Max en série}$$

Avec :

- UMPPT max : La valeur maximale de la tension pour laquelle le tracker (MPPT) fonctionne.
- Le coefficient 1.1 est un coefficient de majoration permettant de calculer la tension MPP à -10 °C.
- La plage de tension MPPT : 200V-1000V
- Umpp (panneau) : 41,5V

Alors : $\text{Nb max}_{\text{en série}} = \frac{1000}{41.5*1,15} = \mathbf{20\ panneaux}$

D'après le calcul, le nombre de modules en série doit être **20**.

Donc on a vérifié avec modules en série, on n'atteindra jamais la tension maximale admissible en entrée de l'onduleur Umax = 1100 V. Pour cela, on a calculé la tension maximale que peut fournir une chaine photovoltaïque composée de 20 modules en série. Cette tension maximale est égale à 20× Uco×k = 20×49,3×1,15=1133,9V. Cette tension maximale délivrée par la chaine photovoltaïque est supérieure à la tension maximale admissible en entrée de l'onduleur (Umax =1100 V).

Donc on choisit **19** modules en série qui donne une tension égale **1077.205 V** qui est inférieur à la tension maximale admissible en entrée de l'onduleur (Umax =1100 V).

Par conséquent, une configuration à **19** modules en série est compatible avec la tension maximale admissible de l'onduleur.

b. La compatibilité en courant

Un onduleur est caractérisé par un courant maximal admissible en entrée. Ce courant d'entrée limite correspond au courant maximal que peut supporter l'onduleur côté CC. Lorsque le courant d'entrée de l'onduleur côté CC est supérieur au courant maximal admissible par l'onduleur, celui-ci continue de fonctionner mais fournit au réseau la puissance correspondante à son courant maximal.

Le courant maximal d'entrée est indiqué sur la fiche technique de l'onduleur. Dans notre cas, le courant maximal de l'onduleur **Huawei-SUN2000-(30KTL-M3) est Imax = 26A pour chaque MPPT.**

La valeur d'Imax va déterminer le nombre maximum de chaînes photovoltaïque en parallèle.

$$\textbf{Le nombre de chaines en parallèle} = \frac{\textbf{Imax}}{\textbf{Isc}}$$

Le nombre de chaine en parallèle = $\frac{26}{11{,}6}$ **= 2 chaines**

D'après le calcul, le nombre des chaînes PV est 2 chaines par MPPT.

Vérification de la compatibilité en courant Impp × Nb de chaines = 2×10.85= 21.7A≤ Imax (onduleur) =26 A.

c. La compatibilité en puissance

Un onduleur est caractérisé par une puissance maximale admissible en entrée. La valeur de la puissance maximale en entrée de l'onduleur va limiter la quantité de modules du groupe photovoltaïque reliés à l'onduleur. En effet, il faut veiller que la puissance du groupe photovoltaïque ne dépasse pas la puissance maximale admissible. La puissance délivrée par le groupe photovoltaïque variant en fonction de la luminosité et de la température, on pourra considérer en première approximation, pour le calcul de dimensionnement, une puissance égale à la somme des puissances crêtes de tous les modules du groupe photovoltaïque. Il faudra donc veiller à ce que cette puissance calculée reste inférieure à la puissance maximale admissible par l'onduleur.

La puissance nominale de l'onduleur est comprise entre 80% et 120% de la puissance crête.

$$\textbf{0.8×Pdc(pv) ≤ P(ond) ≤ 1.2×Pdc(pv)}$$

Dans notre cas Pc = 123.11 KW donc la puissance crête d'un champ = $\frac{123.11}{4}$ =30.7775Kw et P_{ond} =30KW

Donc 0.8 × 30777.5< P on$duleur$ < 1.2 ×30777.5 donc 24622< 30000< 36933

Ces calcules justifient la compatibilité en puissance.

La configuration la plus favorable des modules photovoltaïques pour assurer la compatibilité avec l'onduleur dans cette installation est la suivante : 4 onduleurs de 16 chaînes de 17 modules en série, cette configuration nous donne un champ PV de puissance :

Vérification de 1 chaines par entrée MPPT

Ce choix va donner une puissance de **123.11KW**

Donc on a choisi de mettre 4 onduleurs de 30 kWC avec un raccordement de 4 chaines en parallèle de 17 modules pour chaque chaine.

Pour nous donne la puissance de 123.11 KWC.

Donc **: 4*17= 68 panneaux**

68 panneaux de 450 WC nous donnent une puissance de : **68*450=30.6 KWC**

30.6 KWC pour un onduleur. Et alors lorsque on fait **4 onduleurs** la puissance maximale totale est de grandeur de : **30.6*4= 122.4 KWC** C'est que donc compatible avec la puissance maximale (DC) que on veut installer. Donc en totalité on va installer **272 panneaux** à place de 274 pour atteindra la puissance de 123.11 KWC DC

III.5.3 Configuration des panneaux

Notre installation comporte :

- 272 panneaux photovoltaïques.
- 4 onduleurs.

III.6 Choix des câbles

C'est la partie de l'installation que les intensités sont les plus importantes entraînant des pertes joules et des chutes de tension des câbles. La formule de base pour la détermination de la section du câble pour un système photovoltaïque à courant continu est donnée comme suit :

III.6.1 Partie DC

Conformément à la norme C15 − 712, le choix de la section des câbles DC s'effectuée selon deux critères majeurs qui sont

le courant admissible Iz dans le câble et la chute tension dans le câble.

- Le courant admissible par le câble DC qui se varie ça dépend les nombres des chaines photovoltaïques dans l'installation. Dans le cas au les champs PV en maximum deux chaînes, le courant admissible par le câble DC est 1.25 Icc (la norme UT E C15 − 712). Dans notre cas on a 16 modules formant une seule chaîne en parallèle, alors le courant Iz admissible par le câble DC sera :

$$Iz = 1.25 \times Icc = 1.25 \times 11.6 = 14.5\ A$$

- La chute de tension admissible par le câble DC

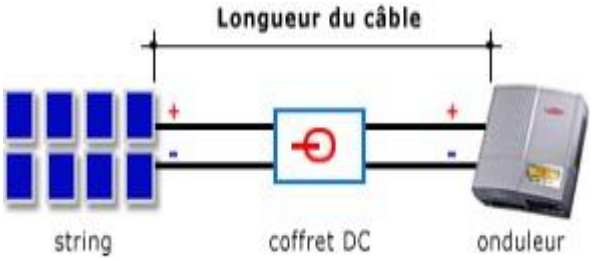


Figure 17:PARTIE DC DE L'INSTALLATION

On rappelle que la section des câbles se calcule par la relation suivante : $S = \frac{2L * Iz * \rho}{sv}$

Justification

On a $\varepsilon v = R \times I$ et $R = \rho \times \frac{L}{S}$

Les deux relations donnent $R = \frac{\Delta U}{I} = \rho \times \frac{L}{S}$ Donc $s = \frac{2L * Iz * \rho}{sv}$

- Nous avons estimé que la longueur entre les panneaux et notre onduleur est 150m environ.
- ρ de cuivre :0 ,023
- Tension max de panneaux :17*49,3 =838,1V
- ε =3% (Dans les grandes installations industrielles ΔU=8%)

Effectuons le calcul :

$S = \frac{0{,}023 * 14.5 * 2 * 150}{838.1 * \frac{3}{100}}$ Alors S =5.05mm^2

Alors on choisit des câbles avec une section de 6 mm² (le marché exige ce choix).

➢ Le câble qu'on a choisi est de marque et référence **KBE Câble solaire 6 mm² Noir**

III.6.2 Partie AC :

On rappelle que la section des câbles AC se calcule par la formule suivante :

$$S = \frac{2L * \rho * I * \cos(\varphi)}{\varepsilon * v}$$

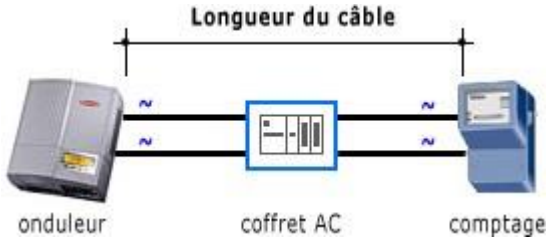


Figure 18: PARTIE AC DE L'INSTALLATION

- L'onduleur délivre un courant et une tension sinusoïdale parfaitement en phase (cos(ϕ) = 1).
- ε = 1%.
- Longueur de câble AC 30m environ
- ρ de cuivre :0 ,023
- Courant à la sortie d'onduleur : 43.3 A
- Tension d'onduleur : 400 V

Effectuons le calcul :

$S = \frac{40 * 2 * 0{,}023 * 43.3}{400 * \frac{1}{100}}$ Alors S =14,66mm^2

Alors on choisit des câbles avec une section de 16 mm² (le marché exige ce choix)

Le câble qu'on a choisi est de marque et référence rigide 3*16mm2 Nexans U-1000 R2V.

III.7 Dimensionnement des éléments de protection

Ce qu'il faut retenir est qu'il faut mettre à minima un coffret de protection en amont de l'onduleur (coffret DC), sauf en cas d'utilisation de micro-onduleurs, un coffret de protection en aval de l'onduleur (coffret AC), et une mise à la terre de l'ensemble des panneaux des panneaux photovoltaïques.

- **Le coffret DC doit contenir un interrupteur-sectionneur général.**
- **Le coffret AC doit contenir un interrupteur-sectionneur général et un disjoncteur différentiel.**

III.7.1 La mise à la terre

Elle consiste à assurer une liaison conductrice entre tous les panneaux et fixation, et de relié l'ensemble à une prise de terre.

La liaison des panneaux avec le kit de fixation peut se faire soit en utilisant des griffes qui assurent le contact, soit des câbles de terre spécialement prévus à cet effet et des vis auto-foreuses.
La liaison entre l'ensemble et la prise de terre se fait ensuite avec un câble de terre, une cosse et des vis auto-foreuses.

La section minimale du câble à utiliser pour relier le champ de panneaux solaire photovoltaïques au coffret de protection est de 6mm², mais elle doit être plus importante si la distance qui sépare ces 2 éléments l'est. La liaison entre le coffret de protection et le tableau général doit aussi se faire avec cette section minimale de 6mm², sauf si le coffret de protection DC est équipé d'un parafoudre. Dans ce cas la section minimale est de 16mm^2.

III.7.2 Partie DC :

a. Les fusibles DC :

Dans une installation photovoltaïque, le nombre des chaînes en parallèles qui exige l'utilisation des fusibles. Selon la norme UTEC15 − 712 − 1, si le générateur PV est constitué d'une chaîne unique, le courant de défaut inverse n'existe pas, et aucun dispositif de protection contre les surintensités n'est exigé.

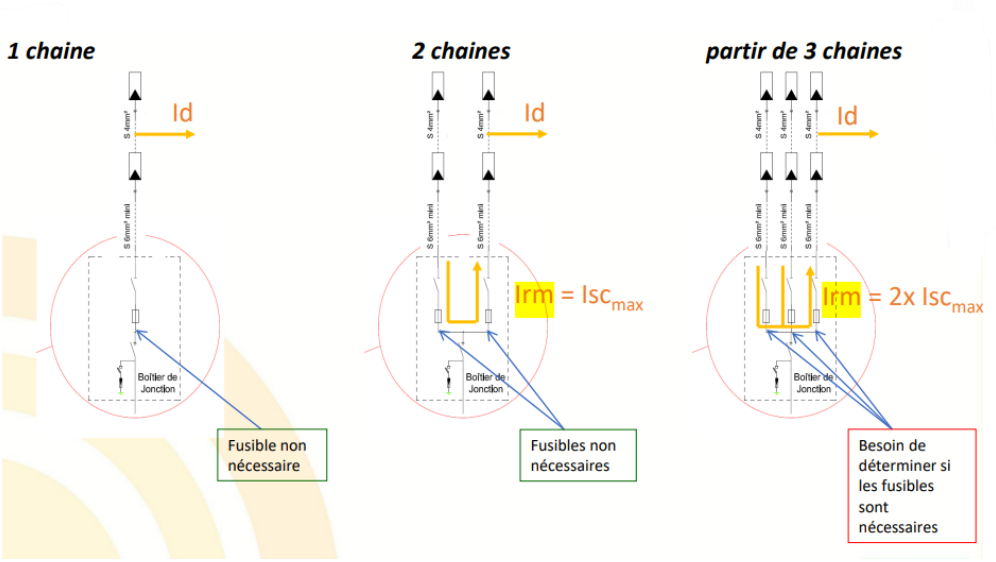


Figure 19 : Fusibles de chaines de PV

Dans notre cas on dispose plus de 2 chaînes des modules PV, donc les fusibles de protection contre les surintensités sont nécessaires (courant inverse non nul).

Donc : **I>1.25*Isc =1.25 × 11.6 = 14.5 A**

Alors le courant de fusible DC doit supérieur à 14.5A.

On prendre le fusible de 16 A

Donc on totalité on installera 32 fusibles de 16 A.

Fusible NFC 10*38-Gg 16A-Schneider électrique.

b. Parafoudre DC

Le parafoudre est un dispositif destiné à limiter le niveau de surtensions transmises par les câbles à un niveau compatible avec la tension de tenue aux chocs des matériels de l'installation et des matériels alimentés par cette installation. Il est généralement placé entre un conducteur actif et la masse de l'équipement à protéger, elle-même reliée à la terre et parfois entre conducteurs actifs. Les parafoudres de type 2 sont conçus pour être installés sur des sites où la probabilité d'impact direct de foudre est estimée à une faible valeur. Les parafoudres de type 2 protègent l'ensemble de l'installation et résistent aux ondes de choc de type 8/20 µs.

En cas de présence d'un paratonnerre sur le bâtiment, il est obligatoire d'installer un parafoudre de Type 1.

Tableau 11 : Choix du type parafoudre

Caractéristique de l'installation	NK ≤ 25		NK ≥ 25	
	Côté DC	Côté AC	Côté DC	Côté AC
Bâtiment ou structure équipé d'un Paratonnerre	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 1	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 1
Alimentation MT par une ligne Entièrement ou partiellement aérienne	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 2
Alimentation MT par une ligne Entièrement souterraine	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 2	Obligatoire Type 2

Le niveau kéraunique d'un site définit le nombre de coups de tonnerre par an dans un endroit donné. Il est déterminé grâce à la carte ci-dessous.

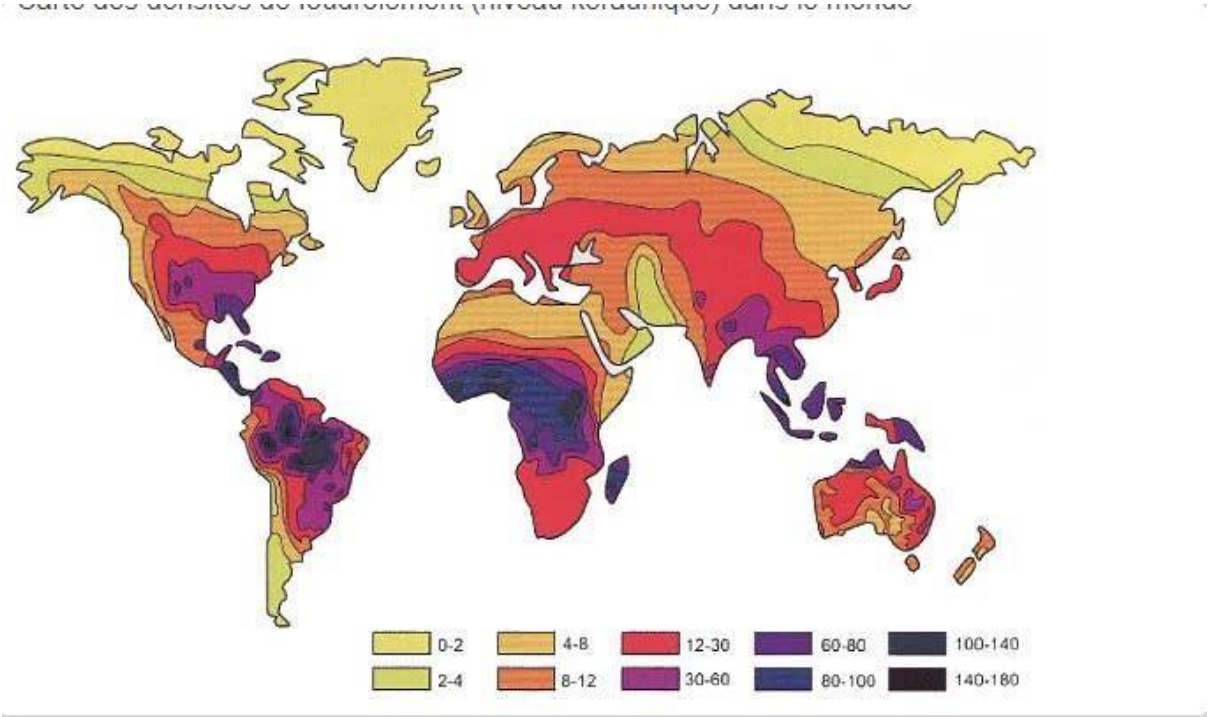


Figure 20 : Niveaux Kérauniques dans le monde

Niveau kéraunique au Maroc en général varie entre 4 et 8 qui est inférieur à 25, Pour la protection contre les surtensions d'origines atmosphériques nous avons choisi un parafoudre de tension supérieure à 838,1V V. Donc on installera un parafoudre de 1000 V. Le nombre des parafoudres on totale sont 4 parafoudres.

c. L'interrupteur sectionneur :

Le choix de sectionneur repose sur deux critères :

• In ≥ 1.25 Icc =1.25***11.6** *Np= 58 Donc on choisit un interrupteur-sectionner de 63A pour chaque onduleur

Alors on a besoin 4 interrupteurs-sectionneur. Marc **NHLF36000S15TW Schneider électrique**

III.7.3 Partie AC :

a. ¬ Choix de disjoncteur :

D'après la norme C le disjoncteur différentiel à mettre en aval de l'onduleur est un disjoncteur de sensibilité 30 mA. U ≥ K× 400V = V.

L'onduleur SUN2000-30KTLM3 délivre un courant de 43.3 A, donc le courant du disjoncteur à utiliser vaut :

In ≥ 1.25 × 43.3= 54.125A

Donc on prendre le disjoncteur de 63 A Pour le nombre de disjoncteurs nécessaire est 4 disjoncteurs **Disjoncteur 4P63A -A9N18373 Schneider électrique**

b. ¬ Parafoudre AC :

Pour la protection contre les surtensions d'origines atmosphériques nous avons choisi un parafoudre de 400 V (UAC = 420 V < 400V).

Donc on choisit un parafoudre de 420 V

Pour valider les résultats de dimensionnement photovoltaïque, on a simulé le projet sous le logiciel PV en tant qu'un logiciel de conception et d'évaluation du rendement des installations photovoltaïques. Ce logiciel permet de réaliser une simulation. **DAC1-13-31-275 Schneider électrique**

III.8 -Les composants de la gestion intelligente d'énergie PV :

Pour aider le consommateur à relever sa consommation énergétique à distance et évitera que des agents doivent le déranger pour la lecture sur place du compteur, on a proposé un Smart Meter de la marque Huawei Smart Power Sensor Triphasé DTSU666-H.

Le compteur intelligent ou « smart meter » est un compteur qui mesure de manière précise et en temps réel les diverses consommations énergétiques (eau, électricité, gaz).
Donc on choisit un smart meter de même marque de l'onduleur de notre installation PV.

IV. Vérification par PVSYST

PVSYST inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique avec guide dans le développement d'un projet. PVSYST permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles.

IV.1 Conception et dimensionnement de l'installation :

- 1 ère étape :

On donne d'abord un nom au projet, puis on choisit le pays et la ville. On peut aussi créer sa propre ville

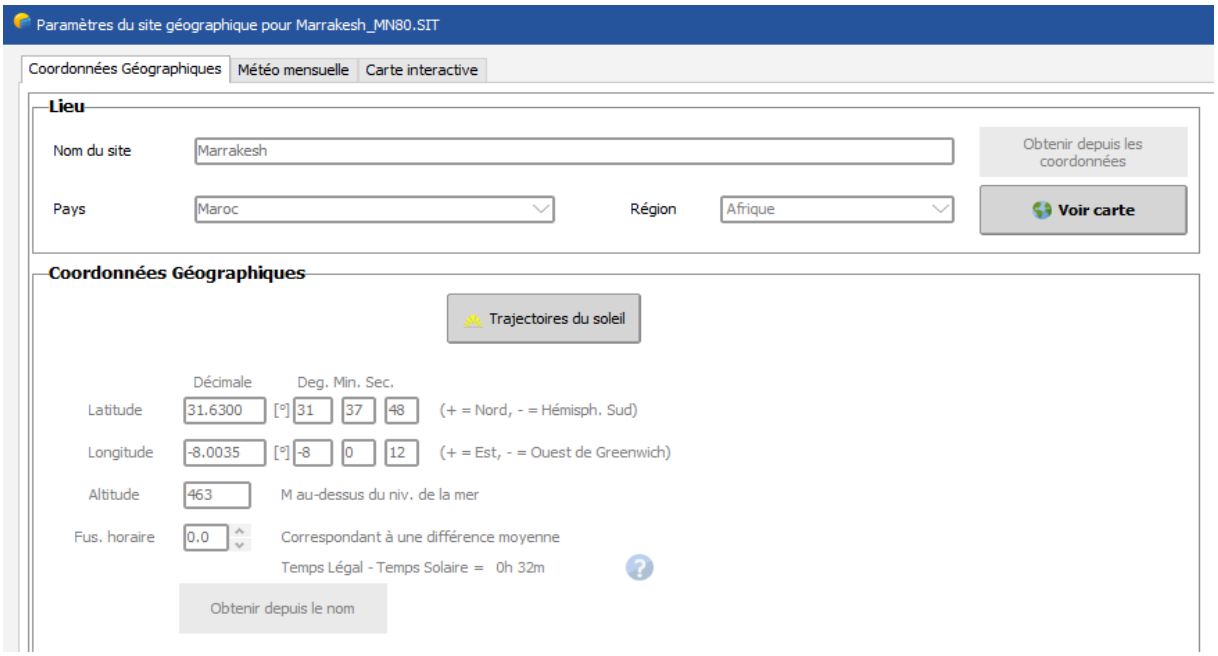


Figure 21:Situation et météo, PVsyst

2 -ème étape :

On choisit ensuite dans le cadre "collector plane orientation" la disposition du panneau à savoir son angle et sont azimut. Dans ce mode le panneau sera forcément fixe. "Show optimisation" permet de trouver la position optimale. On peut choisir l'optimisation en fonction de l'année entière, de l'hiver ou de l'été seul

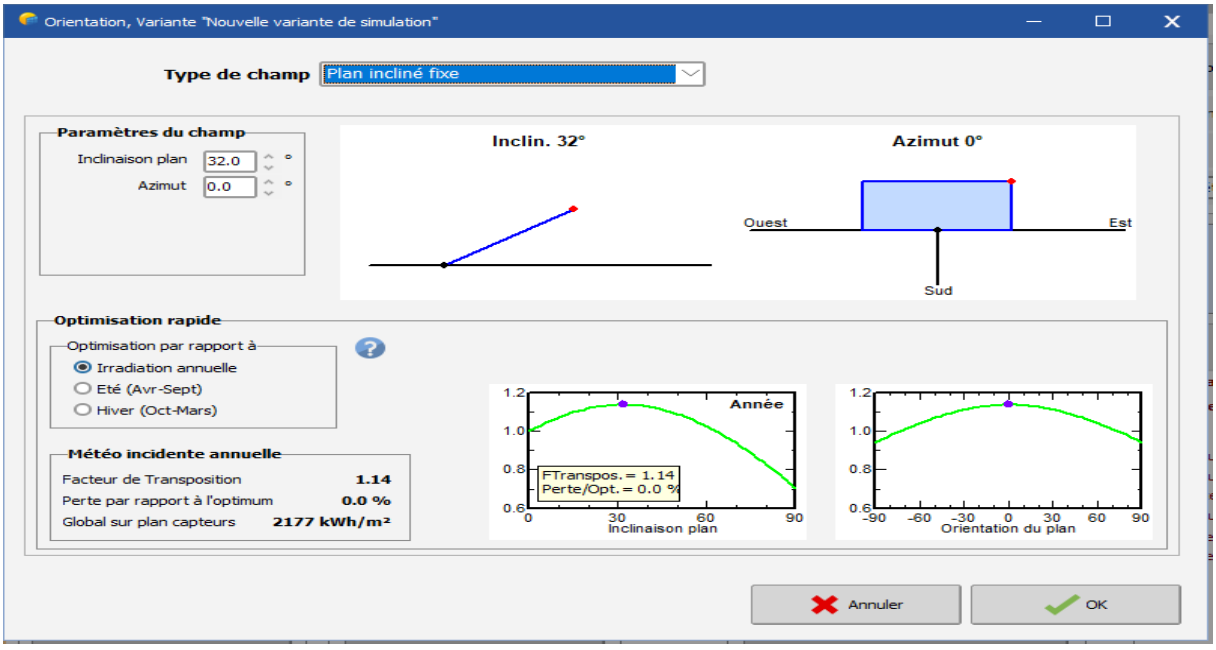


Figure 22 : Orientation, PVsyst

3 -ème étape :

La troisième partie consiste à choisir les éléments centraux et essentiels de l'installation :

- L'onduleur

- Les modules PV Pour avoir les nombres des panneaux en séries et en parallèle.

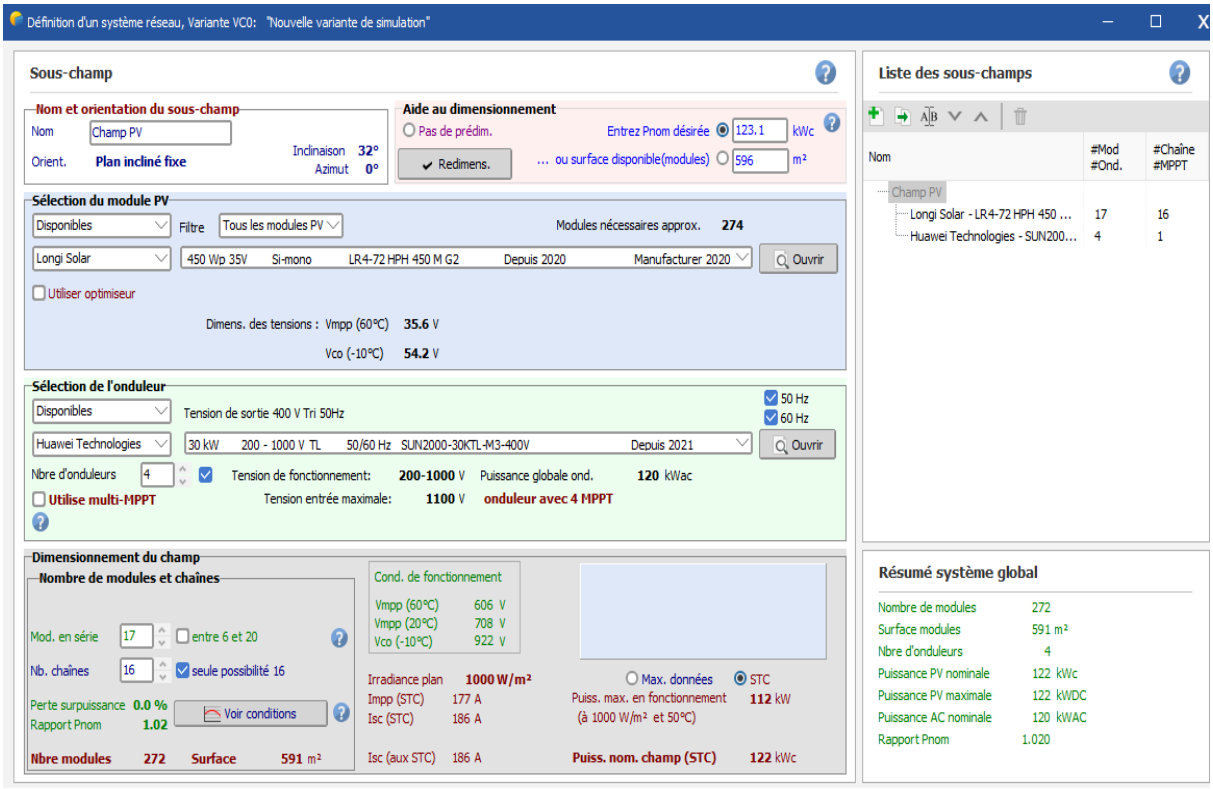

Définition d'un système réseau, Variante VC0: "Nouvelle variante de simulation"
Sous-champ
Nom et orientation du sous-champ
Nom Champ PV
Orient. Plan incliné fixe
Inclinaison 32°
Azimut 0°
Aide au dimensionnement
Pas de prédim.
Entrez Pnom désirée 123.1 kWc
Redimens.
... ou surface disponible(modules) 596 m²
Sélection du module PV
Disponibles
Filtre Tous les modules PV
Modules nécessaires approx. 274
Longi Solar
450 Wp 35V Si-mono LR4-72 HPH 450 M G2 Depuis 2020 Manufacturer 2020
Ouvrir
Utiliser optimiseur
Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) 35.6 V
Vco (-10°C) 54.2 V
Sélection de l'onduleur
Disponibles
Tension de sortie 400 V Tri 50Hz
50 Hz
60 Hz
Huawei Technologies
30 kW 200 - 1000 V TL 50/60 Hz SUN2000-30KTL-M3-400V Depuis 2021
Ouvrir
Nbre d'onduleurs 4
Tension de fonctionnement: 200-1000 V
Puissance globale ond. 120 kWac
Utilise multi-MPPT
Tension entrée maximale: 1100 V
onduleur avec 4 MPPT
Dimensionnement du champ
Nombre de modules et chaînes
Mod. en série 17 entre 6 et 20
Nb. chaînes 16 seule possibilité 16
Perte surpuissance 0.0 %
Rapport Pnom 1.02
Voir conditions
Nbre modules 272 Surface 591 m²
Cond. de fonctionnement
Vmpp (60°C) 606 V
Vmpp (20°C) 708 V
Vco (-10°C) 922 V
Irradiance plan 1000 W/m²
Impp (STC) 177 A
Isc (STC) 186 A
Isc (aux STC) 186 A
Max. données STC
Puiss. max. en fonctionnement (à 1000 W/m² et 50°C) 112 kW
Puiss. nom. champ (STC) 122 kWc
Liste des sous-champs
Nom
#Mod #Ond.
#Chaîne #MPPT
Champ PV
Longi Solar - LR4-72 HPH 450 ... 17 16
Huawei Technologies - SUN200... 4 1
Résumé système global
Nombre de modules 272
Surface modules 591 m²
Nbre d'onduleurs 4
Puissance PV nominale 122 kWc
Puissance PV maximale 122 kWDC
Puissance AC nominale 120 kWAC
Rapport Pnom 1.020

Figure 23 : définition du système réseau

IV.2 **Résultats de la simulation :**

Après la simulation le logiciel nous donne un rapport qui on peut le résumé dans les tableaux suivants :

Tableau 12 : Données de PVSYST

Nombre de chaines	16 chaines
Modules par chaine	17 modules
Nombre de modules	272 modules
Nombre de champs	4 champs
Nombre de chaines par champ	4 chaines

Tableau 13:Dimensionnement des panneaux pour les 4 champs

Voc (champ)	922
Vmpp (champ)	606
Isc (champ)	46.4
Imp (champ)	44.3
Puissance de générateurs	122 kw
Rendement annuel spécifique	1917KWH/m2
Coefficient de performance	85.4%
Energie du générateur propre	224.6MWH/an

V. Analyse financière du projet :

L'analyse financière du projet sert à déterminer le temps de retour sur investissement, c'est à-dire le nombre des années nécessaires pour récupérer le montant d'investissement initial.

- Temps de retour sur investissement de l'installation photovoltaïque

  Pour déterminer le coût total de l'installation il est nécessaire de connaitre le prix des modules PV, d'onduleur ainsi de câbles et de la main d'œuvre. Ou bien connaitre le prix total de l'installation.

  Pour déterminer le coût total de l'installation il est nécessaire de connaitre le prix des modules PV, d'onduleur ainsi de câbles et de la main d'œuvre. Ou bien connaitre le prix total de l'installation.

- Prix des panneaux : 456960 DH HT

- Prix des matériaux : 273290 DH HT

Le cout d'investissement total est 730250 DH

$TRI = {\text{It}}/{\text{Gain}}$

Gain=Energie annuel*prix d'un kWh =141996.4752

TRI=5.15 ANS

Conclusion

Dans ce chapitre on a essayé de montrer qui est nécessaires pour dimensionner une installation PV raccordé au réseau sans injection théoriquement (calcul théorique) et pratiquement (Travail Avec logiciel PVSYST).

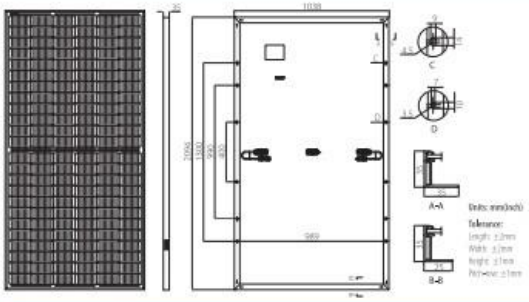
Conclusion Générale

Dans le but de minimiser la facture énergétique d'une ferme et de produire une énergie propre sans pollution d'environnement, on fait plusieurs études et travaux sont menés autour du dimensionnement des systèmes PV. Notre travail consiste à dimensionner une installation photovoltaïque raccordée au réseau et élaboration d'une application. Dans un premier temps, nous avons donné un aperçu général sur l'énergie photovoltaïque, les types des installations et les composants principaux d'une installation photovoltaïque. Puis, nous avons concentré notre effort sur le dimensionnement d'une installation 123KWc. On a détaillé le dimensionnement avec deux méthodes l'une théorique et l'autre pratique sur le logiciel PVSYST et on termine par une estimation du coût d'installation.

Annexes

Les fiches techniques des matérielles de notre installation

Design (mm)



Mechanical Parameters

Cell Orientation: 144 (6×24)
Junction Box: IP68, three diodes
Output Cable: 4mm², 1400mm in length (for EU DG)
Glass: Single glass 3.2mm coated tempered glass
Frame: Anodized aluminum alloy frame
Weight: 23.5kg
Dimension: 2094×1038×35mm
Packaging: 30pcs per pallet 150pcs per 20'GP 660pcs per 40'HC

Operating Parameters

Operational Temperature: -40℃~+85℃
Power Output Tolerance: 0~+5 W
Voc and Isc Tolerance: ±3%
Maximum System Voltage: DC1500V (IEC/UL)
Maximum Series Fuse Rating: 20A
Nominal Operating Cell Temperature: 45±2℃
Safety Class: Class II
Fire Rating: UL type 1 or 2

Electrical Characteristics — Test uncertainty for Pmax: ±3%

Model Number	LR4-72HPH-425M		LR4-72HPH-430M		LR4-72HPH-435M		LR4-72HPH-440M		LR4-72HPH-445M		LR4-72HPH-450M		LR4-72HPH-455M	
Testing Condition	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax/W)	425	317.4	430	321.1	435	324.9	440	328.6	445	332.3	450	336.1	455	339.8
Open Circuit Voltage (Voc/V)	48.3	45.3	48.5	45.5	48.7	45.7	48.9	45.8	49.1	46.0	49.3	46.2	49.5	46.4
Short Circuit Current (Isc/A)	11.23	9.08	11.31	9.15	11.39	9.21	11.46	9.27	11.53	9.33	11.60	9.38	11.66	9.43
Voltage at Maximum Power (Vmp/V)	40.5	37.7	40.7	37.9	40.9	38.1	41.1	38.3	41.3	38.5	41.5	38.6	41.7	38.8
Current at Maximum Power (Imp/A)	10.50	8.42	10.57	8.47	10.64	8.53	10.71	8.59	10.78	8.64	10.85	8.70	10.92	8.75
Module Efficiency(%)	19.6		19.8		20.0		20.2		20.5		20.7		20.9	

STC (Standard Testing Conditions): Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25℃, Spectra at AM1.5

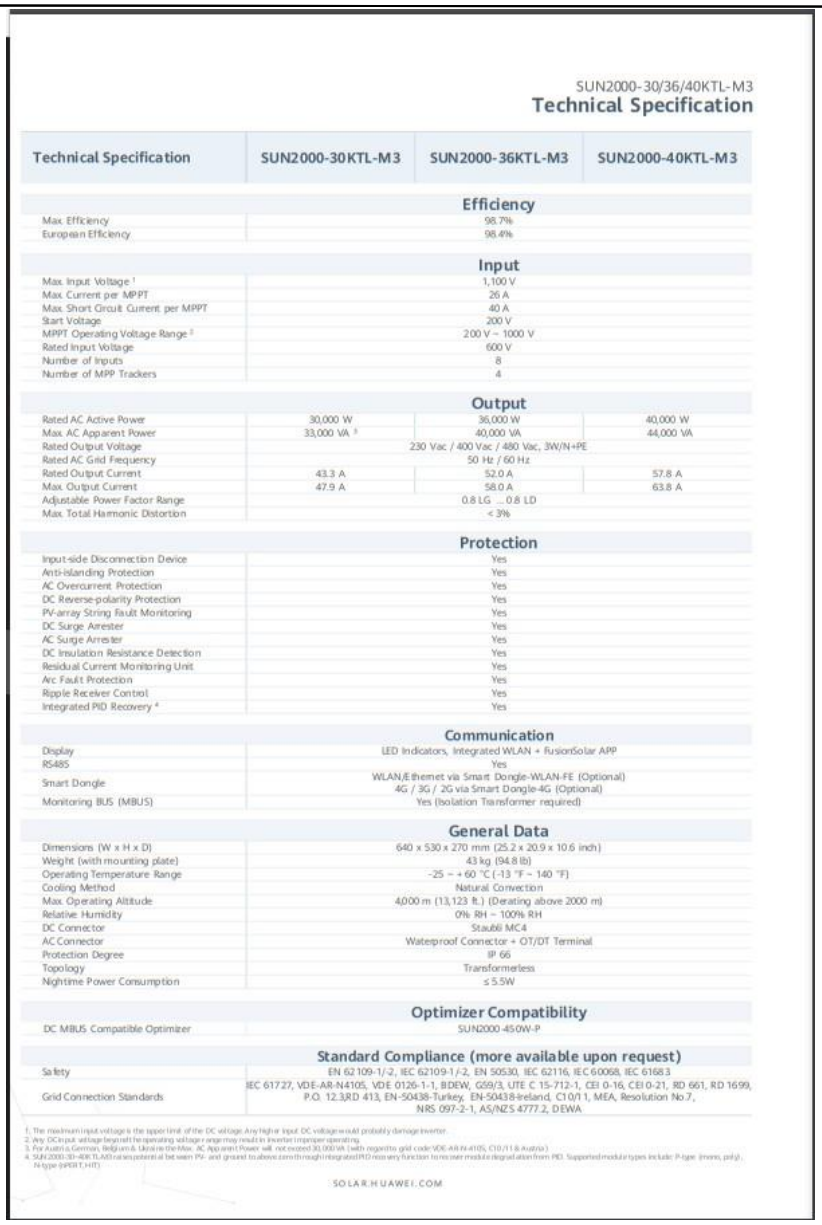
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature): Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20℃, Spectra at AM1.5, Wind at 1m/S

Temperature Ratings (STC)

Temperature Coefficient of Isc	+0.048%/℃
Temperature Coefficient of Voc	-0.270%/℃
Temperature Coefficient of Pmax	-0.350%/℃

Mechanical Loading

Front Side Maximum Static Loading	5400Pa
Rear Side Maximum Static Loading	2400Pa
Hailstone Test	25mm Hailstone at the speed of 23m/s



SUN2000-30/36/40KTL-M3

Technical Specification

Technical Specification	SUN2000-30KTL-M3	SUN2000-36KTL-M3	SUN2000-40KTL-M3
Efficiency			
Max. Efficiency	98.7%		
European Efficiency	98.4%		
Input			
Max. Input Voltage [1]	1,100 V		
Max. Current per MPPT	26 A		
Max. Short Circuit Current per MPPT	40 A		
Start Voltage	200 V		
MPPT Operating Voltage Range [2]	200 V ~ 1000 V		
Rated Input Voltage	600 V		
Number of Inputs	8		
Number of MPP Trackers	4		
Output			
Rated AC Active Power	30,000 W	36,000 W	40,000 W
Max. AC Apparent Power	33,000 VA [3]	40,000 VA	44,000 VA
Rated Output Voltage	230 Vac / 400 Vac / 480 Vac, 3W/N+PE		
Rated AC Grid Frequency	50 Hz / 60 Hz		
Rated Output Current	43.3 A	52.0 A	57.8 A
Max. Output Current	47.9 A	58.0 A	63.8 A
Adjustable Power Factor Range	0.8 LG ... 0.8 LD		
Max. Total Harmonic Distortion	< 3%		
Protection			
Input-side Disconnection Device	Yes		
Anti-islanding Protection	Yes		
AC Overcurrent Protection	Yes		
DC Reverse-polarity Protection	Yes		
PV-array String Fault Monitoring	Yes		
DC Surge Arrester	Yes		
AC Surge Arrester	Yes		
DC Insulation Resistance Detection	Yes		
Residual Current Monitoring Unit	Yes		
Arc Fault Protection	Yes		
Ripple Receiver Control	Yes		
Integrated PID Recovery [4]	Yes		
Communication			
Display	LED Indicators, Integrated WLAN + FusionSolar APP		
RS485	Yes		
Smart Dongle	WLAN/Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE (Optional) 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional)		
Monitoring BUS (MBUS)	Yes (Isolation Transformer required)		
General Data			
Dimensions (W x H x D)	640 x 530 x 270 mm (25.2 x 20.9 x 10.6 inch)		
Weight (with mounting plate)	43 kg (94.8 lb)		
Operating Temperature Range	-25 ~ + 60 °C (-13 °F ~ 140 °F)		
Cooling Method	Natural Convection		
Max. Operating Altitude	4,000 m (13,123 ft.) (Derating above 2000 m)		
Relative Humidity	0% RH ~ 100% RH		
DC Connector	Staubli MC4		
AC Connector	Waterproof Connector + OT/DT Terminal		
Protection Degree	IP 66		
Topology	Transformerless		
Nighttime Power Consumption	≤ 5.5W		
Optimizer Compatibility			
DC MBUS Compatible Optimizer	SUN2000-450W-P		
Standard Compliance (more available upon request)			
Safety	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683		
Grid Connection Standards	IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW, G59/3, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3,RD 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, C10/11, MEA, Resolution No.7, NRS 097-2-1, AS/NZS 4777.2, DEWA		

1. The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.
2. Any DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter improper operating.
3. For Austria, German, Belgium & Ukraine the Max. AC Apparent Power will not exceed 30,000 VA (with regard to grid code VDE-AR-N 4105, C10/11 & Austria).
4. SUN2000-30~40KTL-M3 raises potential between PV- and ground to above zero through integrated PID recovery function to recover module degradation from PID. Supported module types include: P-type (mono, poly), N-type (HJT, HIT).

SOLAR.HUAWEI.COM

Fiche technique du produit

Spécifications

Acti9, iSW interrupteur-sectionneur 4P 63A 415VAC

A9S65463

Statut commercial : Commercialisé

Principales

Gamme	Acti 9
Nom du produit	Acti 9 iSW
Type de produit ou équipement	Interrupteur-sectionneur
Nom de l'appareil	ISW
Application	Contrôle Isolation
Description des pôles	4P
Catégorie d'emploi	AC-22A
Aptitude au sectionnement	Oui

Complémentaires

[Ie] courant assigné d'emploi	63 A à 415 V CA 50/60 Hz
[Ue] tension assignée d'emploi	415 V CA 50/60 Hz
[Icm] pouvoir assigné de fermeture en court-circuit	4,2 kA sectionneur seulement
[Icw] courant assigné de courte durée admissible	1260 A
[Ui] tension d'isolement	500 V CA 50/60 Hz
[Uimp] tension assignée de tenue aux chocs	6 kV
Type de commande	Par maneton
Indication de tension	Indication ON/OFF
Coupure pleinement apparente	Oui
Mode d'installation	Fixe
Support de montage	Rail DIN
Compatibilité des répartiteur, peigne, jeu de barres	Haut ou bas: oui
Pas de 9 mm	8
Hauteur	85 mm
Largeur	72 mm
Profondeur	73 mm

Clauses de non responsabilité : Cette documentation n'est pas destinée à remplacer ni ne peut servir à déterminer l'adéquation ou la fiabilité de ces produits dans le cadre d'une application spécifique

Fiche Produit

Spécifications

TeSys DF - cartouche fusible NFC 10x38mm cylindrique - gG 16A - sans voyant

DF2CN16

Principales

Gamme de produit	Sectionneur fusible TeSys
Type de produit ou équipement	Cartouche fusible
Nom de l'appareil	DF2
[Ue] tension assignée d'emploi	500 V CA
Courant nominal	16 A 500 V
Taille du fusible	10 x 38 mm
Calibre des fusibles	NFC
Quantité du lot	Lot de 10

Complémentaires

Type de fusible	GG
Poids du produit	0,01 kg

Emballage

Type d'emballage 1	PCE
Nombre d'unité par paquet	1
Poids de l'emballage (Kg)	7,0 g
Hauteur de l'emballage 1	1,3 cm
Largeur de l'emballage 1	5,4 cm
Longueur de l'emballage 1	8 cm
Type d'emballage 2	BB1
Nb produits dans l'emballage 2	10
Poids de l'emballage 2	80,0 g
Hauteur de l'emballage 2	1,3 cm
Largeur de l'emballage 2	5,4 cm
Longueur de l'emballage 2	8 cm
Type d'emballage 3	S01
Nb produits dans l'emballage 3	720
Poids de l'emballage 3	5,816 kg

Fiche technique du produit

Spécifications

Acti9, iC60N disjoncteur 4P 63A courbe C

A9F77463

Statut commercial : Commercialisé

Principales

Application	Distribution
Gamme	Acti 9
Nom du produit	Acti9 iC60
Type de produit ou équipement	Disjoncteur miniature
Nom de l'appareil	IC60N
Description des pôles	4P
Nombre de pôles protégés	4
In courant assigné d'emploi	63 A
Type de réseau	CA CC
Type de déclencheur	Thermique-magnétique
Courbe de déclenchement	C
Pouvoir de coupure	6000 A Icn à 400 V CA 50/60 Hz se conformer à EN/CEI 60898-1 36 kA Icu à 12...60 V CA 50/60 Hz se conformer à EN/CEI 60947-2 10 kA Icu à 380...415 V CA 50/60 Hz se conformer à EN/CEI 60947-2 20 kA Icu à 220...240 V CA 50/60 Hz se conformer à EN/CEI 60947-2 6 kA Icu à 440 V CA 50/60 Hz se conformer à EN/CEI 60947-2 36 kA Icu à 100... 133 V CA 50/60 Hz se conformer à EN/CEI 60947-2 10 kA Icu à <= 250 V CC se conformer à EN/CEI 60947-2
Catégorie d'emploi	Catégorie A se conformer à EN 60947-2 Catégorie A se conformer à CEI 60947-2
Aptitude au sectionnement	Oui se conformer à EN 60898-1 Oui se conformer à EN 60947-2 Oui se conformer à CEI 60898-1 Oui se conformer à CEI 60947-2
Normes	EN 60947-2 CEI 60898-1 CEI 60947-2 EN 60898-1
Labels qualité	NF

Complémentaires

Fréquence du réseau	50/60 Hz
Déclenchement magnétique	8 x In +/- 20 %
[Ics] pouvoir assigné de coupure de service en court-circuit	15 kA 75 % se conformer à EN 60947-2 - 220...240 V CA 50/60 Hz 7,5 kA 75 % se conformer à EN 60947-2 - 380...415 V CA 50/60 Hz 4,5 kA 75 % se conformer à EN 60947-2 - 440 V CA 50/60 Hz 15 kA 75 % se conformer à CEI 60947-2 - 220...240 V CA 50/60 Hz 7,5 kA 75 % se conformer à CEI 60947-2 - 380...415 V CA 50/60 Hz 4,5 kA 75 % se conformer à CEI 60947-2 - 440 V CA 50/60 Hz

Clause de non responsabilité : Cette documentation n'est pas destinée à remplacer ni ne peut servir à déterminer l'adéquation ou la fiabilité de ces produits dans le cadre d'une application spécifique

Références bibliographiques

https://www.taqa-efficiency.com/2016/02/17/facture-delectricite/

marwen-pfe-copie-finale_compress.pdf

https://www.steg.com.tn/dwl/prosol/Referentiel_technique_des_installations_PV.pdf

https //C:/Users/DELL/Downloads/Dimensionnement_Sujet_composant_DC_et_AC

Economie%20d%20énergie%20_%20Optim%20Puiss%20électrique%20V2

s5-2_formation_pv_dimensmt-protection_2020-10

https//Energie-Solaire (1).

Exemple de dimensionnement pour le choix des onduleurs photovoltaïques